

**Разработка программного модуля  
для моделирования разреженных рупорных антенн в системе TALGAT**

**М.Т. Нгуен, А.Ф. Алхадж Хасан**

Научный руководитель: профессор, д.т.н. Т.Р. Газизов  
Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники,  
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 40, 634050  
E-mail: [nguyen.t.2213-2022@e.tusur.ru](mailto:nguyen.t.2213-2022@e.tusur.ru)

**Development of a software module  
for modeling sparse horn antennas in the TALGAT system**

**M.T. Nguyen, A.F. Alhaj Hasan**

Scientific Supervisor: Prof., Dr. T.R. Gazizov  
Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics, Russia, Tomsk,  
Lenin str., 40, 634050  
E-mail: [nguyen.t.2213-2022@e.tusur.ru](mailto:nguyen.t.2213-2022@e.tusur.ru)

**Abstract.** *In this study, we have developed and presented a software module with GUI to simplify the process of modeling sparse horn antennas using wire grid in the TALGAT system. This module allows to set the geometrical parameters of the horn structure, the number of wire grid elements and the excitation source. In addition, it also allows setting parameters to create different sparse antennas with controlled accuracy of the antenna characteristics. In addition, this module allows to select among different numerical integration methods to calculate the impedance matrix and then the basic characteristics of the antenna at a specific operating frequency or frequency band. To demonstrate the operability of the software module, a horn antenna from another work was selected as an example. The results showed that the software module can easily generate sparse antennas and accurately calculate their main characteristics.*

**Key words:** *Wire-grid, sparse antennas, horn antenna, method of moments, optimal current grid approximation, TALGAT system.*

**Введение**

В настоящее время разработка новых облегченных моделей антенн с меньшей массой и размерами необходима для улучшения функциональности радиосвязи и удовлетворения высоких требований, предъявляемых к современным радиоэлектронным устройствам. Поскольку соответствие таким требованиям может повлиять на основные характеристики антенны, необходимо создавать их специфические модели и тщательно исследовать их. Одним из наиболее испытанных методов моделирования является метод моментов (МоМ). [1]. Благодаря простоте своего алгоритма, он может достаточно точно вычислить характеристики антенны и при этом, по сравнению с другими методами, занимает меньшее время. Более того, он позволяет разработать на его основе новые подходы, одним из которых является аппроксимация проводящей поверхности антенны с помощью проводной сетки (ПС). [2].

На основе ПС недавно предложена аппроксимация оптимальной токовой сеткой (АОТС) для эффективной генерации разреженных антенн [3]. Она применялась в системе TALGAT для расчета их характеристик. Они отличаются контролируемой точностью характеристик при значительном уменьшении массы. Однако язык программирования этой системы (TALGAT\_script) работает только с элементарными командами, создающими простые провода, что усложняет построение сложных структур. Для моделирования сложных конструкций ПС и, тем более, применения на них АОТС, пользователю необходимы хорошие знания геометрии и программирования, что затрудняет его задачу и усложняет сам процесс проектирования разреженных антенн.

Поэтому основной целью данной работы является разработка программного модуля с интуитивно понятным графическим интерфейсом пользователя (ГИП), упрощающего процесс моделирования рупорной антенны ПС и позволяющего создавать разреженные структуры из исходной в системе TALGAT. Данный модуль позволяет задать размер рупора, количество элементов сетки и источник возбуждения и создать разреженную структуру на основе исходной ПС. Кроме того, он позволяет выбирать различные методы расчета матрицы импеданса и основных характеристик антенны с контролируемой точностью на определенной частоте или в диапазоне частот.

### Экспериментальная часть

Для достижения цели данной работы выбран язык программирования высокого уровня Python, благодаря его универсальности и эффективности в разработке интерфейсных программных модулей, а также богатым и разнообразным библиотекам. Из них использованы Tkinter, Matplotlib и Openpnl. Они позволяют удобно и быстро создать ГИП с множеством доступных функций, окон, виджетов и действий, предоставляя мощные инструменты для эффективного построения графиков, анализа и визуализации данных. Кроме того, для обеспечения работы с расчетными методами и командами, встроенными в систему TALGAT, использовались библиотеки UTIL, MATRIX, MOMW, MOM2D, RESPONSE и GRAPH. Структурная схема программного модуля включает в себя три подмодуля: настройки параметров антенны, исходной и разреженной антенны. На основе этой схемы построен ГИП, представленный на рис. 1. Для упрощения работы с модулями ГИП создан в одном окне.

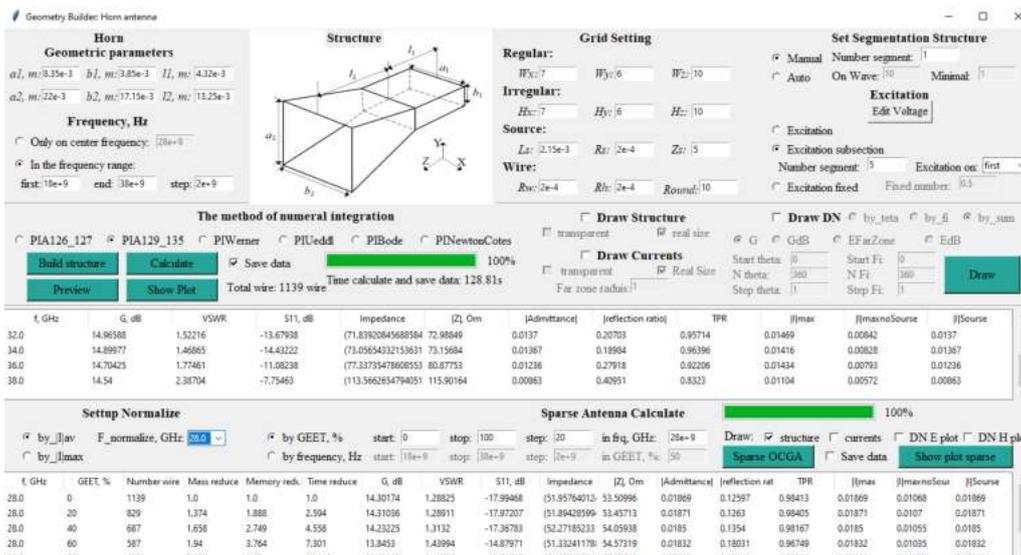


Рис. 1. ГИП программного модуля

Стоит отметить, что подмодуль разреженной антенны позволяет выполнять следующие функции: задать частоту, на которой будут нормироваться токи, нормировать ток по его среднему или максимальному значению, задать значение допуска на удаление элементов сетки (ДУЭС) для получения различных разреженных структур, задать частотный диапазон для расчета характеристик разреженной структуры, полученной при выбранном значении ДУЭС, рассчитать и показать характеристики разреженной антенны и графически продемонстрировать зависимость полученных данных от частоты или ДУЭС.

### Результаты

Для тестирования работоспособности ГИП в качестве примера выбрана рупорная антенна из работы [4]. При нажатии кнопки «Build structure» построилась исходная структура из ПС с использованием 1139 проводов. После нажатия кнопки «Calculate» начинается

процесс расчета основных характеристик рупорной антенны и сведения полученных данных в таблицу, сопровождающийся отображением стадии расчета на индикаторе с указанием процента выполнения (рис. 1). Кроме того, отображается время расчета и сохранения данных, которое в данном примере составило 128,81 с. При нажатии на кнопку «Show plot» отображаются зависимости основных характеристик антенны от частоты. Анализируя полученные данные, можно определить структуру, удовлетворяющую заданным требованиям. После нажатия кнопки "Sparse OCGA" модули тока в проводах сетки на частоте 28 ГГц нормировались относительно их среднего значения. Затем генерировались разреженные структуры (при ДУЭС от 0 до 100 % с шагом 20 %), диаграммы направленности (ДН) которых показаны на рис. 2. Полученные результаты демонстрируют работоспособность программного модуля при создании разреженных антенн с контролируемой точностью характеристик.

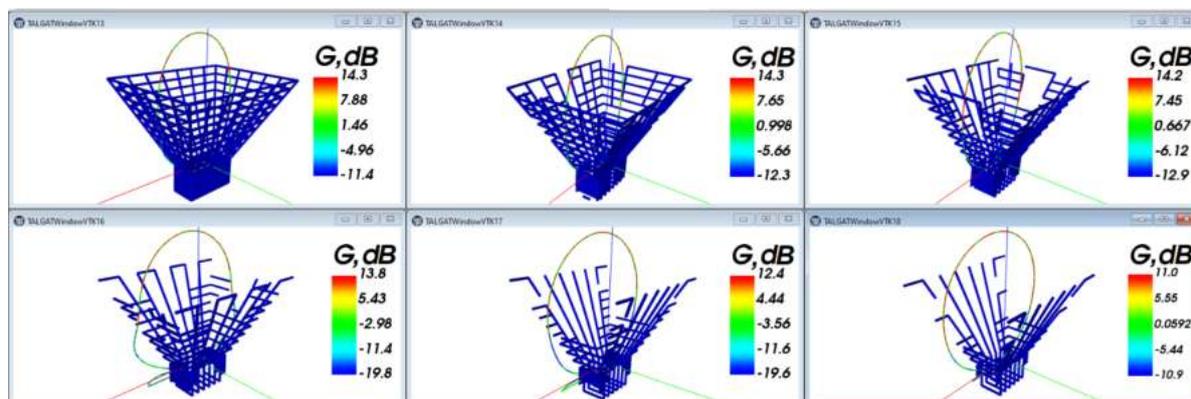


Рис. 2. Полученные ДН разреженной структуры при различных значениях ДУЭС

### Заключение

Таким образом, разработан программный модуль с ГИП. Модуль позволяет значительно упростить процесс моделирования рупорных антенн ПС в системе TALGAT и создавать разреженные структуры антенн из исходной. Его работоспособность показана на примере рупорной антенны из литературы. Разреженные антенны создавались с помощью АОТС при различных ДУЭС. Благодаря ГИП пользователи могут быстро проанализировать, оценить и выбрать подходящую разреженную структуру, удовлетворяющую их требованиям. Дальнейшая работа направлена на развитие данного программного модуля и расширение его возможностей в части моделирования различных типов разреженных антенн.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки России по проекту FEWM-2023-0014.*

### Список литературы

1. Квасников А.А., Демаков А.В., Иванов А.А., Клюкин Д.В., Комнатнов М.Е., Куксенко С.П. Система компьютерного моделирования антенн методом моментов // Системы управления, связи и безопасности. – 2022. – № 1. – С. 49-66.
2. Алхадж Хасан А.Ф. Нгуен М.Т., Газизов Т.Р. Моделирование антенн методом моментов: аппроксимация поверхности проводами // Доклады ТУСУР. – 2023. – Т. 26, № 2. – С. 51-71. DOI:10.21293/1818-0442-2023-26-2-51-71.
3. Alhaj Hasan A., Nguyen M.T., Kuksenko S.P., Gazizov T.R. Wire-grid and sparse MoM antennas: Past evolution, present implementation, and future possibilities // Symmetry. – 2023. – Vol. 15, № 2. – P. 378. DOI:10.3390/sym15020378.
4. Helena D., Ramos A., Varum T., Matos J.N. The use of 3D printing technology for manufacturing metal antennas in the 5G/IoT context // Sensors. – 2021. – Vol. 21, № 10. – P. 3321. DOI: 10.3390/s21103321